Vol.11, No.1, Spring 2022, pp.39-56 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.71397.1087 Open access

Bank Erosion Potential and Channel Instability in Haji Arab River Located in Buin Zahra, Qazvin

Mohammad Mahdi Hosseinzadeh[a*], Siavosh Shayan[b], Fatemeh Najafzadeh[c]

[a] *Associate Professor in Geomorphology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*
[b] *Associate Professor in Geomorphology, Human and Science Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*
[c] *PhD Student in Geomorphology, Human and Science Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

Received: 10 July 2021 Revised: 28 August 2021 Accepted: 3 September 2021

Abstraction

Water flow is one of the earth processes that in addition to changing earth surface, affect human's life. Any change in channel properties affects other variables. Stream bank erosion is very important because entering a large part of the river sediments through erosion of the river bank changes some parts the river channel such as width and depth. It is also important as it affects the characteristics of river pattern and hazards that threaten people's lives and properties. The purpose of this study was to investigate the instability and morphometric changes of canal in Haji Arab river in Buin Zahra of Qazvin province. Rapid Geomorphic Assessment (RGA) was used for measuring the stability and morphometric changes in Haji Arab river. For this purpose 8 reaches were chosen. Indices of stability and instability along the bank stream were evaluated using cross-sectional mapping and field operations. The parameters of Channel Stability Index (CSI) were scored during the field works. The reaches were classified in terms of sensitivity to lateral erosion. The results show that the highly unstable stream banks belong to reaches of 7 and 8. Moreover, the distribution of data was determined using a Box Plot diagram. According to the relative score, it was found that the stream bank erosion and the vegetation of riparine are the most effective factors in the instability of the banks of Haji Arab river.

Keywords: Rapid Geomorphic Assessment (RGA), Stream Bank Stability, Channel Stability Index (CSI), Haji Arab river, Fluvial Geomorphology

* .Corresponding author: Mohammad Mahdi Hosseinzadeh E-mail: m_hosseinzadeh@sbu.ac.ir Tel: + 989111937320

How to cite this Article: Hoseinzadeh, M. M, Shayan, S., & Najafzadeh, F. (2022). Bank erosion potential and channel instability in Haji Arab River located in Buin Zahra, Qazvin. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *11*(1), 39-56.
DOI: 10.22067/geoeh.2021.71397.1087

Geography and Environmental Hazards
Volume 11, Issue 1 - Number 41, Spring 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71397.1087

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارهٔ چهل و یکم، بهار ۱٤۰۱، صص ٥٦-۳۹

مقاله پژوهشی

پتانسیل فرسایش‌کناره و ناپایداری مجرا در رودخانه حاجی‌عرب بویین‌زهرا- قزوین

محمد مهدی حسین زاده[1] – دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
سیاوش شایان – دانشیار دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
فاطمه نجف زاده – دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/٤/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/٦/٦ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/٦/۱۲

چکیده

جریان آبها، ازجملهٔ مهم‌ترین فرآیندهای سطحی هستند که علاوه بر تغییر و تعیین سیمای عمومی زمین بر نحوه زیست انسان در کره زمین نیز تأثیر دارند. عملکرد سیستمی رودخانه موجب می‌شود، هرتغییری درمؤلفه‌های کانال رود بر سایر متغیرها نیز تآثیر بگذارد. فرسایش کناره بنا به دلایلی چون ورود بخشی از رسوبات به جریان رودخانه که از کناره‌های رود تغذیه می‌شوند، تغییر در ابعاد مجرا مانند: عرض و عمق، اثراتی که بر ویژگی‌های الگوی‌رود دارد و مخاطراتی که می‌توانند فعالیت‌های انسانی را تهدید کنند، حائز اهمیت است. هدف از این تحقیق، بررسی ناپایداری و تغییرات مورفومتری مجرا در رودخانه حاجی‌عرب در بوئین‌زهرا از شهرستان‌های استان قزوین است. در این پژوهش پایداری کناره‌رود با استفاده از روش‌های ارزیابی سریع ژئومورفیک (RGA) مورد بررسی قرارگرفته است. رودخانه مورد نظر درقالب ۸ بازه مطالعه شد. با نقشه برداری از مقاطع عرضی و عملیات‌میدانی شاخص‌های پایداری و ناپایداری کناره‌رود ارزیابی شدند. پارامترهای موجود درروش شاخص پایداری مجرای رود (CSI) درفرآیند بازدیدهای میدانی امتیازدهی شد. بازه‌ها از نظر حساسیت به فرسایش‌کناره طبقه‌بندی شدند که بازه‌های ۷ و ۸ ناپایدارترین بازه‌ها بودند. همچنین نحوه پراکندگی داده‌ها با استفاده از نمودار جعبه‌ای تعیین شد با توجه به امتیازنسبی،

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۱۹۳۷۳۲۰ Email: m_hoseinzadeh@sbu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

حسین زاده، محمد مهدی؛ شایان، سیاوش؛ نجف زاده، فاطمه. (۱٤۰۱). پتانسیل فرسایش‌کناره و ناپایداری مجرا در رودخانه حاجی‌عرب بویین‌زهرا- قزوین. جغرافیا و مخاطرات محیطی.۱۱(۱). صص ٥٦-۳۹
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71397.1087

عامل فرسایش کناره و پوشش‌گیاهی ریپارین مؤثرترین عوامل در ناپایداری کناره‌های رودخانه حاجی‌عرب تعیین شدند.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی سریع ژئومورفیک (RGA)، پایداری کناره، شاخص پایداری کانال (CSI)، رودخانه حاجی‌عرب، ژئومورفولوژی رودخانه‌ای.

۱- مقدمه

فرسایش کناره رود بخشی از عملکرد سیستماتیک رودخانه‌ها محسوب می‌شود. فرسایش کناره‌ای می‌تواند اثرات ژئومورفیک متعددی بر جای بگذارد. در مناطقی که دخالت انسان باعث برهم خوردن تعادل طبیعی رودخانه شود، می‌تواند مخاطراتی چون تهدید زمین‌های کشاورزی یا مسکونی حاشیه رودخانه، افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها، تغییر الگوی رودخانه‌ای و همچنین تغییر کیفیت جریان آب و زیستگاه‌های آبی را به همراه داشته باشد. این اثرات زمانی بیشتر قابل درک است که به طور مستقیم به انسان خسارت وارد شود. تخریب جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی، پل‌ها و سایر سازه‌های رودخانه‌ای ازجمله این خسارات است. ازاین‌رو شناسایی و تعیین کناره‌های پایدار و ناپایدار و میزان این پایداری می‌تواند نقش مؤثری در کنترل محیط‌های رودخانه‌ای، پیشگیری از وقوع مخاطرات‌محیطی داشته باشد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۷). افزایش فرسایش کناره‌ای نه‌تنها موجب افزایش بار رسوب می‌شود بلکه موجب ناپایداری رودخانه و تغییر نوع جریان و الگوی کانال هم می‌شود. ازاین‌رو طی چند دهه اخیر بار رسوب و ناپایداری کناره‌ای رود، نگرانی‌های عمده‌ای را در سطح جهان ایجاد نموده و مبالغ زیادی برای پایداری کناره‌های رود صرف شده است (برنارد و همکاران[1] ۲۰۰۵).

جورج و همکاران[2] (۲۰۰۶) یک جعبه ابزار برای مدل سازی فرآیندهای احیاء و طبیعی سازی در رودخانه‌ها توسعه دادند. این مدل شامل برنامه‌های مبتنی بر ویندوز و سیستم اطلاعات جغرافیایی است که برای تجزیه و تحلیل و مدل سازی مهاجرت کانال مورد استفاده قرار می‌گیرد. وجود پوشش‌گیاهی، با توجه به نقشی که در حفاظت و تثبیت دیواره و سواحل رودخانه می‌تواند ایفا کند، عامل مؤثری در بروز تغییرات ریخت شناسی رودخانه می‌باشد. گری و لیسر[3] (۱۹۸۲) و پترسن[4] (۱۹۸۶) تأثیرات مهم پوشش‌گیاهی را در حفاظت از سواحل و رودخانه‌ها گزارش داده‌اند.

1 Bernhardt and et al
2 Jorge and et al
3 Gray and Leiser
4 Petersen

محققینی چون درز و باشـر[1] (۲۰۱۱)، با ابزارهایی چون: تصـاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و داده‌های لیدار به تحقیق در زمینه ناپایداری کرانه‌ای پرداخته‌اند. کوریت[2] (۲۰۱٤) با اسـتفاده از روش پیامدهای منبع غیرنقطه‌ای رسـوب (BANCS[3]) به پیش‌بینی فرسایش و پایداری کرانه در رودخانه استونی کلووکریک پرداخته است.

تکنیک‌های میدانی متعددی مانند: میله‌های فرسـایشـی، نقشـه برداری از مقطع کانال و میله‌های فرسـایشـی فتوالکتریـک (PEEP) برای ارزیابی فرسـایش کناره رود مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد لاولر[4] (۱۹۹۳)، اسـماعیلی و همکـاران (۱۳۹۰) این تکنیـک‌هـا دقت زیادی دارند اما وقتگیر بوده و در مقیاس زمانی نیازمند ماه‌ها تا سـال‌ها وقت هستند.

در مطـالعات ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، مجموعه‌ای از شـاخص‌های عینی برای اندازه‌گیری سـریع ویژگی‌های ژئومورفولوژیـک مـاننـد: پایداری و ناپایداری کانال‌رود مورد اسـتفاده قرار می‌گیرند که تکنیک‌های ارزیابی سـریع ژئومورفیک (RGA)[5] نام دارند. با اسـتفاده از این تکنیک‌ها، پارامترهای تأثیرگذار در وقوع اشـکال ژئومورفیک در روی زمین امتیازدهی می‌شـوند و مجموع امتیازات همه عوامل، به توصـیف شـرایط موجود از نظر پایداری کمک می‌کند. تاکنون روش‌های متعددی از ارزیابی سـریع ژئومورفیک برای بررسـی فرسـایش کناره رود به کار گرفته شـده اسـت. شـاخص پایداری کانال سیمون و دونز[6] (۱۹۹۵) که در این روش برای ارزیابی میزان، توزیع و پتانسیل بی ثباتی کانال از روشـی که مبتنی بر معیارهای بین رشـته‌ای از مورفولوژی کانال‌آبرفتی و پوشـش‌گیاهی کناره‌ای ارائه شـده، اسـتفاده کرده اسـت. روش ACS ارائه شـده توسـط جانسـون و همکاران[7] (۱۹۹۹) که تحت عنوان روش ارزیابی سـریع، بر اسـاس ۱۳ شـاخص کمی و کیفی فرآیندهای ریخت‌شناسی بررسی می‌شوند. شاخص خطر فرسایش کرانه (BEHI[8]) و روش تنش‌برشـی نزدیک کرانه (NBS[9])، راسـگن[10] (۲۰۰۱)، روش CSI[11] سیمون و کلیمتز[12] (۲۰۰۸) که براساس شـاخص‌های ژئومورفیک به ارزیابی شـرایط کرانه‌ها از نظر پایداری پرداخته اسـت. روش OSEPI[13] هیرن و همکاران[14] (۲۰۱۲) که به منظور اولویت‌بندی بازه‌های رودخانه اکلاهما اوزارک در پروژه‌های تثبیت انجام شـده اسـت.

1 De Rose and Basher
2 Coryat
3 Bank assessment for non-point source consequences
4 Lawler
5 Rapid geomorphologic assessment
6 Simon and Downs
7 Johnson &et al
8 Bank erosion hazard index
9 Near bank stress
10 Rosgen
11 Channel stability index
12 Simon and Klimetz
13 Oklahoma Ozark streambank erosion potential index
14 Heeren

همچنین روش ROM[1] که با توجه به آگاهی از اینکه ترکیب خاک بر مقاومت در برابر فرسایش تأثیر دارد (زینال عابدین و همکاران ۲۰۱۷). در این مقاله سعی می‌کنند شاخص ارزیابی ریسک فرسایش ساحل رودخانه را به‌طور خاص به ترکیب خاک مرتبط کنند.

در خصوص مطالعات مرتبط با فرسایش کرانه‌ای در ایران می‌توان به مطالعات مختلفی اشاره کرد که با استفاده از تکنیک‌های متفاوت فرسایش کرانه را بررسی کرده‌اند.

در پژوهشی امیری تکلدانی و همکاران (۱۳۸٤) اثرات موقعیت و عمق ترک‌های کششی در پایداری ساحل رودخانه را مورد بررسی قرار دادند. براساس مشاهدات میدانی و تعیین جنس ذرات تشکیل دهنده سواحل تخریب یافته مشخص شد که توسعه ترک کششی در خاک‌های در بردارنده ۱۰ تا ۲۰ درصد رس در صورت تغییر شرایط رطوبتی خاک محتمل است، همچنین در خاک‌های با چسبندگی بالا یا خاک‌های درشت دانه امکان توسعه ترک کششی وجود ندارد. حسین زاده و همکاران (۱۳۹٦) نیز به مقایسه روش‌های برآورد خطر فرسایش کرانه‌ای با شاخص خطر فرسایش کرانه یا BEHI و روش تنش برشی نزدیک کرانه (NBS)در رودخانه گلالی قروه پرداخته‌اند. نتایج نشان داد روش نسبت حداکثر عمق نزدیک کرانه به متوسط عمق دبی مقطع پر (دبی لبالبی) برای بررسی میزان فرسایش پذیری کرانه مدل NBS مناسب‌تر از روش شعاع انحنا به عرض دبی مقطع پر (دبی لبالبی) و روش تنش برشی نزدیک کرانه به تنش برشی دبی مقطع پر (دبی لبالبی) است. همچنین حسین زاده و همکاران (۱۳۹٦) با استفاده از روش BEHI فرسایش کناره رود را در رودخانه قرانقوچای(شهرستان هشترود) مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان خطر فرسایش در کناره سمت راست رودخانه در همه بازه‌های مورد مطالعه در سطح متوسط تا خیلی زیاد است. همچنین حسین زاده و اسماعیلی (۱۳۹۷) به برآورد فرسایش کرانه‌ای با مدل BSTEM[2] پرداخته‌اند که در این پژوهش هدف تشخیص و تعیین کارایی این مدل برای ارزیابی شرایط حاکم بر کرانه رودخانه در راستای حفاظت از رود و مدیریت بحث فرسایش رودخانه‌ای، فشار آب منفذی و پوشش گیاهی نزدیک کرانه است. اطمینان و همکاران (۱۳۹۹) ضریب ناپایداری رودخانه طالقان و راهکار مهندسی برای پایدارسازی کناره آن با استفاده از مدل لین را مورد مطالعه قرار داده‌اند. همچنین اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۹) به طبقه بندی و تحلیل ژئومورفولوژیکی بخشی از رودخانه حمزه‌خانلو با مدل رزگن پرداختند که در نتیجه بخش‌های مختلف رودخانه را از نظر حساسیت به عواملی چون حساسیت به تلاطم، کنترل پوشش‌گیاهی، پتانسیل بازیابی و تأمین رسوب مورد اریابی قرار دادند.

در این پژوهش تلاش شد تا با استفاده ازشاخص پایداری کانال (CSI) که از گروه تکنیک‌های ارزیابی سریع ژئومورفیک (RGA) می‌باشد، به بررسی پارامترهایی پرداخت که در پایداری و ناپایداری کرانه‌های رودخانه

1 Rolan and Mazidah scale
2 Bank Stability and Toe Erosion Model

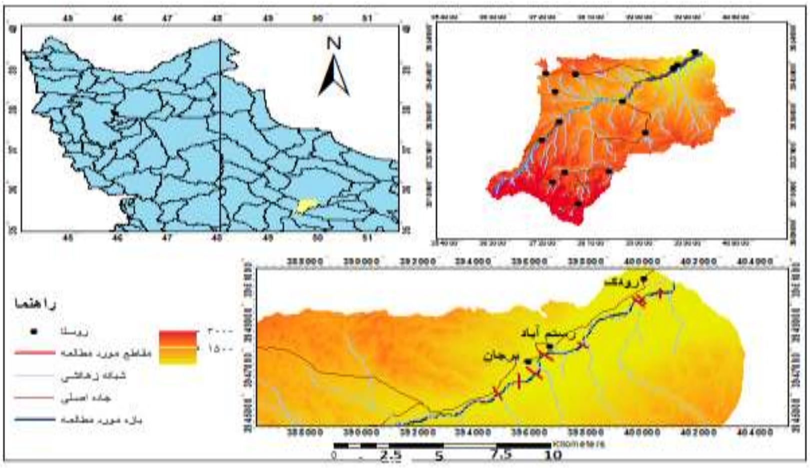
حاجی‌عرب نقش دارند. روش ارزیابی سریع ژئومورفیک در مطالعات مربوط به فرسایش کرانه‌ای شامل مجموعه‌ای از مدل‌ها و تکنیک‌ها تحت عنوان ارزیابی سریع ژئومورفیک است، مانند ACS, CSI, OSEPI که در این پژوهش تکنیک شاخص پایداری کانال مورد استفاد قرار گرفته است. هدف از استفادهٔ این مدل بررسی کارایی این مدل در رودخانه حاجی عرب واقع در شهرستان بویین‌زهرا می‌باشد و با امتیازدهی به این پارامترها تأثیرگذارترین پارامتر در پایداری کرانه شناسایی می‌شود و قسمت‌های مختلف منطقه را از نظر پایداری و حساسیت به فرسایش می‌توان تفکیک کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه حاجی‌عرب با مختصات جغرافیایی ٤٩ درجه ٥١ دقیقه و ٥٨ ثانیه طول جغرافیایی و ٣٥ درجه و ٣٩ دقیقه و ٤٨ ثانیه عرض‌جغرافیایی در بخش جنوبی دشت قزوین و در محدوده شهرستان بویین‌زهرا جریان دارد. این رودخانه با دو شاخه اصلی به نام نصرت‌آباد و چناقچی از ارتفاعات کوه‌های مرکزی به نام ارتفاعات کوه زیارت بلغی به ارتفاع ٢٦٠٠ متر سرچشمه گرفته و با روند جنوب به شمال از روستاهایی چون یرجان، رستم آباد و رودک عبور می‌کند و وارد منطقه شهری سگزآباد در غرب شهر بویین زهرا می‌شود. رودخانه حاجی‌عرب در طول مسیر خود اراضی کشاورزی و باغی اطراف را سیراب نموده و وارد دشت قزوین می‌شود و در پایان به منطقه شوره زار مرکزی دشت قزوین می‌ریزد. در برخی سالها طغیان این رودخانه وسیلابی شدن آن موجب تهدید اراضی کشاورزی و مسکونی می‌شود (شکل ١).

حوضه این رودخانه با مساحت کل ١٣٠/٦ کیلومتر مربع دارای آب و هوای نیمه خشک بوده و میزان متوسط بارندگی آن حدود ٣٥٠ میلی متر در سال است (یمانی، ابراهیم خانی، ١٣٨٩). میانگین دبی سالانه جریان در رودخانه حاجی‌عرب ٠/٦٢ متر مکعب بر ثانیه است. از نقطه نظر تقسیمات زمین شناختی ایران، این منطقه بخشی از نوار ماگمایی ارومیه_ بزمان در پهنه ایران مرکزی است (آقانباتی، ١٣٨٣). گدازه‌های ریولیتی و سنگ‌های آذرآوری اندزیتی سازندهای غالب منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

۲-۲- مطالعات میدانی و روش‌های استفاده شده

در مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، مجموعه‌ای از شـــاخص‌های عینی، امکان ارزیابی ســـریع ویژگی‌های ژئومورفولوژیک با هدف ارزیابی پایداری کانال رود را ایجاد می‌کند. تکنیک ارزیابی ســـریع ژئومورفیک (RGA) با بررسی و امتیازدهی به ویژگی‌های محیط مورد مطالعه به تعیین وضعیت پایداری و ناپایداری منطقه می‌پردازد.

ازجمله اقدامات اســاســی در مطالعات مرتبط با فرســایش کناره‌ای رودخانه، ارزیابی‌های ژئومورفولوژی براســاس مطالعات میدانی می‌باشـــد. پیش از بازدیدهای میدانی انجام مطالعات کتابخانه‌ای، جمع‌آوری اطلاعات از طریق کتاب‌ها و مقاله‌های فارســی و لاتین، همچنین گزارش‌ها، از جمله گزارش‌های ســازمان هواشــناســی و مدیریت منابع آب ایران مورد نیاز می‌باشـــد. مقادیر دبی رودخانه از داده‌های آماری ایســـتگاه هیدرومتری حاجی عرب، نصـــرت آباد در دوره آماری (۱۳۵٦-۱۳۹۵) استفاده شده است (وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران).

با هدف بررســـی فرســـایش کناره‌ای رودخانه حاجی عرب، ۷/۵ کیلومتر از طول رودخانه انتخاب و محدوده مورد مطالعه از نظر تفاوت الگو و مورفومتری به ۸ بازه تقسـیم شـد. سـپس نقشه‌برداری از مقاطع (با استفاده از دوربین نقشه برداری)، مورفومتری کانال، دانه ســـنجی رســـوبات کرانه (برای اندازه گیری قطر ذرات هر بازه به دو روش شـــمارش ذرات[1] و روش حجمی اســـتفـاده گردیـد. در روش حجمی ذرات بزرگتر از ۲ میلیمتر بـا اســـتفاده از الک تفکیک و کوچکتر از ۲ میلی متر به روش هیدرومتری اندازه گیری شـدند. در روش شـمارش ذرات که خاص رسوبات درشت از ٤ میلیمتر اســت نمونه‌ها به صـورت تصـادفی برداشــت و با اســتفاده از گراول متر اندازه‌گیری شد) وضعیت تراکم، چســبندگی رســوبات بررســی ویژگی‌های پوشــش‌گیاهی کرانه و دشت سیلابی برای هر بازه انجام گرفت. تهیه نیمرخ طولی و عرضــی رودخانه، نقشــه برداری از مقاطع و طول بازه با استفاده از دوربین نقشه برداری به عمل آمد و در ادامه

1 Pebble count

در محیط نرم افزاری فری‌هند نیم‌رخ عرضـــی مقاطع تهیه گردید و براســـاس مقاطع ترســـیم شـــده ارتفاع کرانه و زاویه کرانه محاســـبه شـــد. به منظور بررســـی پوشـــش‌گیاهی از پروتکل RHS[1] استفاده شد که این روش امکان ثبت اطلاعات مرتبط با رودخانه از جمله موقعیت بازه‌ها، الگو، اشـــکال ژئومورفیک درون و بیرون کانال، کاربری اراضـــی و پوشـــش گیاهی درون و کرانه کانال و وضـــعیت مورفومتری کانال را در بازدیدهای میدانی فراهم می‌ســـازد. همچنین براســـاس پلان ترســـیم شـــده از روی تصـــاویر گوگل ارث الگوی رودخانه مشـــخص گردید. بر اســـاس اطلاعات و داده‌های بدســـت‌آمده حســـاســـیت کناره‌ها نسبت به ناپایداری و فرسایش کناره‌ای با استفاده از روش شاخص پتانسیل فرسایش کناره (CSI) تحلیل و بررســـی شـــدند. برای تعیین مؤثرترین پارامتر در شاخص فرسایش بالقوه کرانه رود از امتیاز نسبی اســـتفاده گردید که برای محاســـبه امتیاز نســـبی، امتیاز هر متغیر تقســـیم بر حداکثر امتیاز آن متغیر شـــدند. به منظور بررسی پراکندگی داده‌ها از نمودار جعبه‌ای برای تحلیل آماری در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شده است.

۲-۳- شاخص پایداری کانال (CSI)

در ارزیابی با شـــاخص پایداری کانال، ۹ متغیر شـــامل اندازه رســـوبات بستر، حفاظت بستر یا کناره، درجهٔ فروسایی، درجهٔ محدودیت کانال، فرســـایش کناره رود، ناپایداری کناره رود، پوشش‌گیاهی درختی در حاشیه رودخانه (ریپارین)، وجود اشـــکال رســـوبی در کناره رود و مرحله مدل تکامل کانال مورد بررســـی قرار می‌گیرد. این شـــاخص صـــرفاً برای کناره‌های بحرانی یعنی کناره‌هایی که ارتفاع داشـــته و در نزدیکی جریان آب قرار دارند قابل اســـتفاده اســـت. جدول ۱ پارامترهای مورد ارزیابی و امتیازات مربوط به هر را پارامتر نشان می‌دهد.

اندازه رسوبات بستر: رسوبات ریزدانه‌تر نسبت به رسوبات درشت دانه امتیاز بیشتری می‌گیرند.

حفاظت بســـتر یا کناره: در بحث حفاظت کناره و بســـتر بر اســـاس مشاهدات میدانی اگر هردو حفاظت شده باشند امتیاز ۰ می‌گیرد. اگر هیچ حفاظتی در بســـتر نباشـــد امتیاز ۱ که این امتیاز ۱ با امتیاز وضـــعیتی که فقط یک کناره در آن حفاظت شده (امتیاز ۲) و یا وضعیتی که هر دو کناره حفاظت شده باشند (امتیاز ۳) جمع می‌شود.

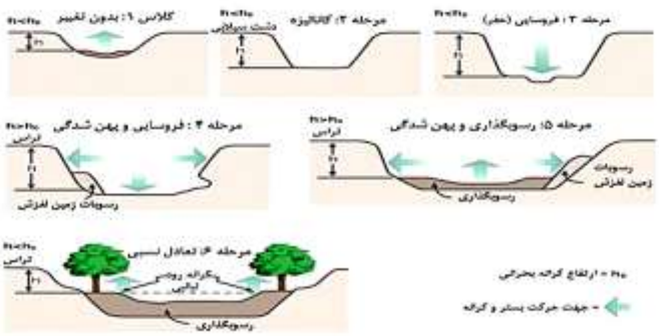
درجه فروســـایی: حفاظت کناره‌ها همچنین روی درجه فروســـایی نیز تأثیر دارد که درجه فروســـایی از نســـبت عمق بازه به مجموع عمق و ارتفاع کناره بدســـت می‌آید. در پارامترهایی که نیاز به مشـــاهدهٔ میدانی داشـــتند از پرتکل RHS استفاده شده است (شکل ۲).

درجه محدودیت کانال: درجه محدودیت بر اســـاس عرض مقاطع از بالادســـت به پایین دست رودخانه اندازه‌گیری می‌شـــود. بدین منظور عرض بازه با اســـتفاده متر نواری و شاخص و عرض بالا دست با متر نواری اندازه‌گیری شد و از اختلاف آنها درجه محدودیت کانال تعیین شد.

1 River habitat survay

ناپایداری کناره رود: شـواهد فرسـایش از طریق مشاهده حرکات توده‌ای برای هر دو کناره چپ و راست رودخانه تعیین می‌شـود. شـواهد حرکات توده‌ای شـامل زمین لغزش در کناره‌ها، ریزش سـطحی خاک در پایین کناره و تشکیل لبه‌های دندانه دار در بالای کناره‌ها می‌شـوند. درصـد کناره‌هایی که دارای حرکات توده‌ای هسـتند بر اسـاس طول بازه تخمین زده می‌شود (سیمون و کلیمتز، ۲۰۰۸).

پوشـش‌گیاهی درختی در حاشـیه رودخانه: درصد گیاهان و پوشش‌گیاهی که نقش مقاوم کردن کناره‌ها را دارند نیز به نسـبت کل بازه در هر کناره محاسـبه شده و امتیاز آنها جمع می‌شود. با توجه به اشکال رسوبی متصل به کرانه مانند: پوینت بارها می‌توان نسـبت به امتیازدهی وجود اشـکال رسـوبی در کناره رود اقدام نمود که این پارامتر نیز برای هر دو کناره به صـورت مجزا امتیازدهی می‌شود و در نهایت جمع می‌شوند. برای تعیین شواهد فرسایش و حرکات و توده‌ای و تراکم پوشـش‌گیاهی نیز از پرتکل RHS اسـتفاده شده است. مرحله تکامل رودخانه در بازه‌ها براساس تطبیق با شکل (۲) و بررسـی وضـعیت فرسـایش و رسـوب‌گذاری بر پایه مدل ٦ مرحله‌ای سـیمون و هوپ[1] (۱۹۸٦) امتیازدهی می‌شـوند. مجموع امتیازهای بدسـت آمده از پارامترهای فوق وضـعیت پایداری و ناپایداری کرانه رود را نشان می‌دهد. امتیاز کمتر از ۱۰ حالت پایدار، بین ۱۰ تا ۲۰ ناپایداری متوسـط و امتیاز بیش از ۲۰ نشـان دهندهٔ ناپایداری بسـیار زیاد است (سیمون و کلیمتز، ۲۰۰۸).



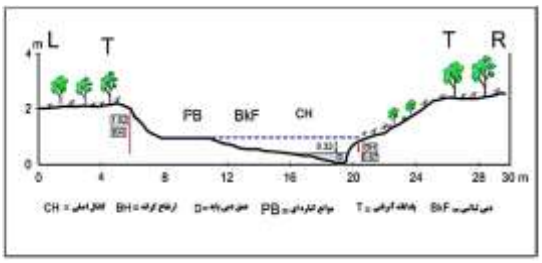
شکل ۲- مدل تکاملی کانال رود (سیمون و هوپ، ۱۹۸٦؛ سیمون و کلیمتز، ۲۰۰۸)

جدول ۱- پارامترهای مورد ارزیابی و امتیازات مربوط به هر پارامتر در شاخص پایداری کانال (منبع: اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۷ با تغییرات)

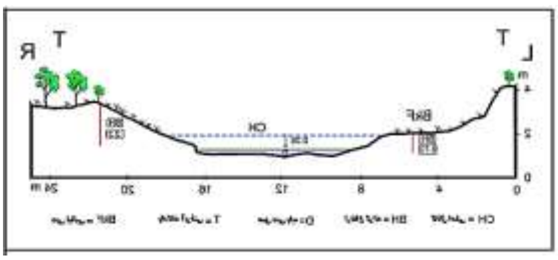
ردیف	پارامتر	امتیازشاخص CSI					
۱	اندازه رسوبات بستر	مشخصات	سنگ بستر	تخته سنگ/قلوه سنگ	ریگ و شن (گراول)	ماسه	سیلت و رس
		امتیاز	۰	۱	۲	۳	٤

1 Simon and hupp

ردیف	پارامتر	امتیازشاخص CSI						
٢	حفاظت بستر یا کرانه	مشخصات	هردو حفاظت شده		بدون حفاظت+	یک کرانه حفاظت شده	هر دو کرانه حفاظت شده	
		امتیاز	٠		١	٢	٣	
٣	درجه فروسایی D/(BH+D)	مشخصات	٠-١٠٪		١١-٢٥٪	٢٦-٥٠٪	٥١-٧٥٪	٧٦-١٠٠٪
		امتیاز	٤		٣	٢	١	٠
٤	درجه محدودیت کانال W/Wa	مشخصات	٠-١٠٪		١١-٢٥٪	٢٦-٥٠٪	٥١-٧٥٪	٧٦-١٠٠٪
		امتیاز	٤		٣	٢	١	٠
٥	فرسایش کرانه رود ناپایداری کناره رود (درصد حرکات توده‌ای در کرانه)	مشخصات		بدون فرسایش	کرانه دارای فرسایش رودخانه‌ای	کرانه دارای حرکات توده‌ای		
		امتیاز	چپ	٠	١	٢		
			راست	٠	١	٢		
٦	ناپایداری کناره رود (درصد حرکات توده‌ای در کرانه)	مشخصات		٠-١٠٪	١١-٢٥٪	٢٦-٥٠٪	٥١-٧٥٪	٧٦-١٠٠٪
		امتیاز	چپ	٠	٠/٥	١	١/٥	٢
			راست	٠	٠/٥	١	١/٥	٢
٧	پوشش گیاهی درختی در حاشیه رودخانه (ریپا رین)	مشخصات		٠-١٠٪	١١-٢٥٪	٢٦-٥٠٪	٥١-٧٥٪	٧٦-١٠٠٪
		امتیاز	چپ	٠	٠/٥	١	١/٥	٢
			راست	٠	٠/٥	١	١/٥	٢
٨	وجود اشکال رسوبی در کرانه رود	مشخصات		٠-١٠٪	١١-٢٥٪	٢٦-٥٠٪	٥١-٧٥٪	٧٦-١٠٠٪
		امتیاز	چپ	٠	٠/٥	١	١/٥	٢
			راست	٠	٠/٥	١	١/٥	٢
٩	مرحله مدل تکامل کانال	مشخصات	I	II	III	IV	V	VI
		امتیاز	٠	١	٢	٤	٣	١/٥



شکل ٣- نیمرخ عرضی مقطع یک از بازه یک در رودخانه حاجی‌عرب



شکل ٤- نیمرخ عرضی مقطع دوم از بازه دو در رودخانه حاجی‌عرب

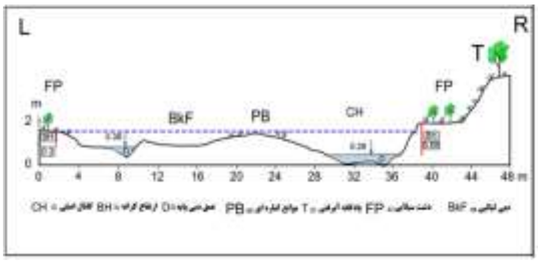
۳- نتایج وبحث

بازه اول (روستای رودک): اولین بازه در ابتدای روستای رودک قرار دارد که بیشتر از رسوبات گراولی در کرانه راست و رسوبات سیلت و رسی در کرانه چپ تشکیل شده است. محدوده دارای کاربری باغ و کشاورزی بوده رسوبات منفصل در کرانه چپ به صورت موانع نقطه‌ای قابل مشاهده است. هیچ‌گونه پوشش‌گیاهی روی این موانع رسوبی دیده نمی‌شود. کرانه راست شیب بیشتری نسبت به کرانه چپ دارد (شکل ۳).

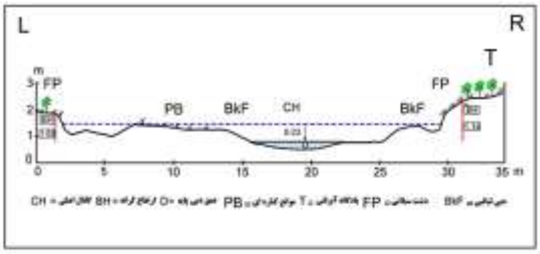
بازه دوم: دومین بازه در انتهای روستای رودک و پایین‌دست رودخانه حاجی‌عرب قرار دارد. رسوبات تشکیل دهنده این رودخانه سیلت و رس می‌باشد. کانال رودخانه به صورت مستقیم است هر دو کرانه با شیبی ملایم به جریان می‌رسند در این مقطع بیشترین تأثیر را نیروی جریان بر فرسایش کرانه‌ها دارند (شکل ٤).

بازه سوم: کانال بازه مورد نظر از نوع شریانی است و عمده رسوبات بستر از نوع گراول هستند. این مقطع با فاصله ١٩٤ متر از مقطع دوم قرار دارد که واقع در انتهای روستای رودک می‌باشد پوشش گیاهی منطقه بیشتر باغ و مزارع است (شکل ٥).

بازه چهارم: این بازه در ابتدای روستای رستم‌آباد قرار دارد، در بازهٔ چهارم بیشتر رسوبات بستر از نوع گراول است. جنس رسوبات در کرانه راست گراولی و در کرانه چپ سیلت و رسی می‌باشد. کانال رودخانه پیچانرودی است و پوشش‌گیاهی منطقه بوته ودرختچه، علفزارهای بلند با زمین‌های باتلاقی است. کناره‌های رودخانه پوششی ندارد. بیشتر از کرانه چپ است، پوشش کناره‌های رودخانه در کرانه راست درختچه و بوته و در کرانه چپ برهنه است (شکل ٦).



شکل ٥- نیمرخ عرضی مقطع سوم از بازه سه در رودخانه حاجی‌عرب

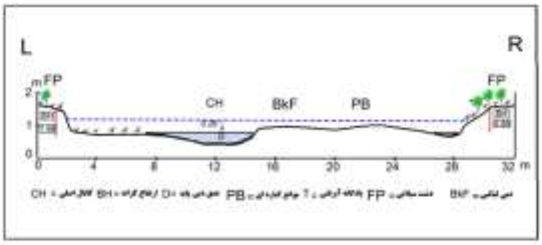


شکل ٦- نیمرخ عرضی مقطع چهام از بازه چهار در رودخانه حاجی‌عرب

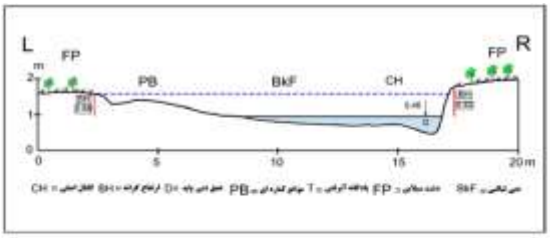
بازه پنجم: این بازه در انتهای روستای رستم آباد واقع شده است بازه پنجم یک مقطع دوکاناله است که یکی از آنها اصلی و دیگری فرعی است که رسوبات بستر آن گراولی بوده اما می‌توان رسوباتی در ابعاد بولدر یا کابل نیز مشاهده کرد. جنس رسوبات در کرانه راست سیلت و رس و در کرانه چپ گراولی می‌باشد. پوشش گیاهی بیشتر

درختچه‌ای اسـت و کاربری باغ دارد کانال رودخانه از نوع پیچانرودی اسـت. شـیب کرانه چپ بیشـتر از کرانه راست می‌باشد. کناره‌های رودخانه پوششی ندارد (شکل ۷).

بازه شــشــم: این بازه در نزدیکی روستای یرجان قراردارد. بازه ششم کانالی با انحنای کم است که پوشش‌گیاهی آن بیشـتر شامل چمنزارها ومراتع خشک (درختان گز) و بوته و درختچه است رسوبات بستر غالباً گراولی است. رسوبات کرانه راســت گراولی و کرانه چپ از نوع سیلت و رس می‌باشد. شیب کرانه راست بیشتر از کرانه چپ است. در کناره راست رودخانه پوشش‌گیاهی علفی وجود دارد اما کرانه چپ برهنه می‌باشد (شکل ۸).



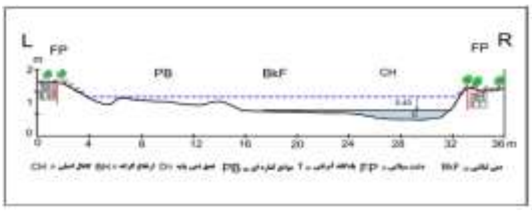
شکل ۷- نیمرخ عرضی مقطع پنجم از بازه پنج در رودخانه حاجی‌عرب



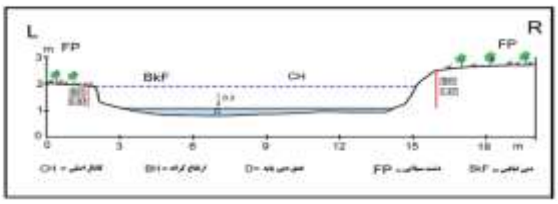
شکل ۸- نیمرخ عرضی مقطع ششم از بازه شش در رودخانه حاجی‌عرب

بازه هفتم: این بازه در انتهای روســتایی به نام یرجان قرار دارد. رســوبات بســتر این مقطع عمدتاً گراولی هســتند، رسـوبات کرانه راسـت گراولی و رسوبات کرانه چپ سیلت و رسی هستند. ارتفاع و شیب کرانه راست بیشتر از کرانه چپ اســت. در ســمت چپ پوشــش‌گیاهی از نوع علفزارهای بلند و خشــن اســت و سمت راست باغ و مزارع است. کناره‌های رودخانه برهنه هستند، نوع کانال رودخانه پیچانرودی است (شکل ۹).

بازه هشــتم: این بازه خارج از روسـتای یرجان قراردارد عمده رسـوبات بستر از نوع گراولی است، رسوبات کرانه راســت گراولی وکرانه چپ سیلت و رسی می‌باشد. رودخانه الگوی مستقیم دارد پوشش گیاهی منطقه بوته و درختچه و علفزارهای بلند اســت. کناره‌های رودخانه پوشــشــی ندارد و برهنه است. کرانه‌ها از نظرشیب و ارتفاع اختلاف زیادی ندارند (شکل ۱۰).



شکل ۹- نیمرخ عرضی مقطع هفتم از بازه هفت در رودخانه حاجی‌عرب



شکل ۱۰- نیمرخ عرضی مقطع هشتم از بازه هشت در رودخانه حاجی‌عرب

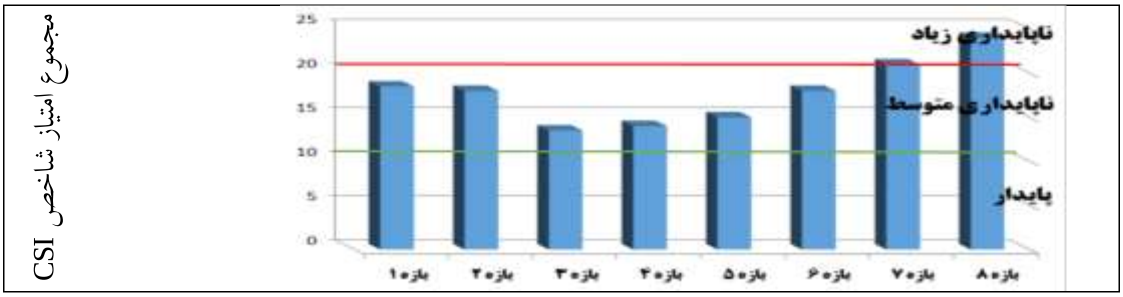
در محـدوده مورد مطـالعه مقادیر شـــاخص پایداری کانال امتیازدهی شـــدند. با توجه به جدول ۳ می‌توان چنین اسـتنباط نمود که در بیشـتر بازه‌های مورد بررسی (بازه‌های ۳،٤،٦،۷،۸) تخته سنگ و قلوه سنگ غالب بوده است و در بازۀ اول و دوم بیشـــتر رســـوبات به ترتیب ماســـه و ســـیلت و رس بوده‌اند. درجه محدودیت در تمامی بازه‌ها صـــفر می‌باشـــد. بازه‌های اول، شـــشـــم و هفتم کرانه راســـت هم فرســـایش رودخانه‌ای دارد و هم حرکات توده‌ای کنار رودخانه‌ای. کرانه چپ فقط فرســایش رودخانه‌ای دارد. در بازه دوم و چهارم هر دو کرانه فرســایش رودخانه‌ای دارند. کرانه چپ در بازه سـوم فرسـایشی ندارد ولی کرانه راست دارای فرسایش رودخانه‌ای است در بازه پنجم کرانه راست، فرســایش رودخانه‌ای، و کرانه چپ فرســـایش از نوع حرکات توده‌ای می‌باشـــد. بازه ۸ در هر دو کرانه هم فرســـایش رودخانه‌ای و هم حرکات توده‌ای دارد.

در بازه ۱ فقط در کرانه راسـت حرکات توده‌ای مشـاهده می‌شـود، در بازه‌های ۲،۳،٤ شـواهدی از حرکات توده‌ای کنـار رودخـانـه‌ای دیده نمی‌شـــود. در بازه ۵ بر خلاف کرانه راســـت در کرانه چپ حرکات توده‌ای کنار رودخانه‌ای مشـاهده می‌شـود. در بازه ٦ در هر دو کرانه حرکات توده‌ای کنار رودخانه‌ای مشـاهده گردید. بازه ۷ در کرانه راسـت شـواهد بیشـتری از حرکات‌توده‌ای نسـبت به کرانه چپ دارد و در بازه ۸ نسـبت به دیگر بازه‌ها میزان حرکات توده‌ای کنار رودخانه‌ای در هر دو کرانه قابل توجه اسـت. پوشـش‌گیاهی کرانه رود (ریپارین) کرانه راست بیشتر از کرانه چپ در بازه اول بوده اسـت. در بازه دوم در هر دو کرانه میزان پوشـش‌گیاهی برابر اسـت. در بازه سـوم پوشش‌گیاهی کرانه راست بیشتر از کرانه چپ است. در بازه چهارم پوشش‌گیاهی هر دو کرانه برابر است.

جدول ۳- خلاصه امتیازات شاخص‌های ناپایداری کرانه رود با روش CSI

متغیر / بازه‌ها	جنس رسوبات بستر	کرانه حفاظت شده	فروسایی بستر	درجۀ محدودیت	فرسایش کرانه	حرکات توده‌ای کرانه	پوشش گیاهی ری‌پارین	اشکال رسوبی	مدل تکاملی	امتیاز	طبقه بندی
بازه ۱	۳	۱	۲	۰	٤	۱	۳,۵	۲	۲	۱۸,۵	ناپایداری متوسط
بازه ۲ چپ	٤	۱	۲	۰	۲	۰	۳	٤	۲	۱۸	ناپایداری متوسط
بازه ۲ راست	٤	۱	۳	۰	۲	۰	۳	٤	۲	۱۹	ناپایداری متوسط
بازه ۳	۲	۱	۲	۰	۱	۰	۲,۵	۲	۲	۱۳,۵	ناپایداری متوسط
بازه ٤	۲	۱	۳	۰	۲	۰	۲	۱	۳	۱٤	ناپایداری متوسط
بازه ۵	۱,۵	۱	۳	۰	۳	۱,۵	۱,۵	۰,۵	۳	۱۵	ناپایداری متوسط
بازه ٦	۲	۱	۲	۰	٤	۱	۲,۵	۱,۵	٤	۱۸	ناپایداری متوسط
بازه ۷	۲	۱	۳	۰	٤	۲,۵	۲,۵	۲	٤	۲۱	ناپایداری بسیارزیاد
بازه ۸	۲	۱	۳	۰	٦	۳,۵	۲	۲,۵	٤	۲٤	ناپایداری بسیارزیاد

در بازه پنجم پوشش‌گیاهی در هر دو کرانه برابر است. در بازه ششم کرانه چپ متراکم‌تر از کرانه راست است. بازه هفتم از پوشش‌گیاهی نسبتاً خوبی برخوردار هستند و در بازه ۸ کناره چپ متراکم‌تر از کناره راست می‌باشد. درصد رسوبات منفصل بازه اول در کناره راست بیشتر از کناره چپ می‌باشد. در بازه دوم، چهارم، پنجم و هشتم رسوبات منفصل دو کناره وضعیت مشابهی دارند. بازه سوم میزان رسوبات منفصل کناره راست بیشتر از کناره چپ است. در بازه ششم و هفتم، درصد رسوبات منفصل کناره چپ از کناره راست بیشتر است. با توجه به مدل مرحله تکاملی رود بازه‌های ۱،۲،۳ در مرحله فروسایی و حفر قرار دارد. بازه‌های ٤،٥ در مرحله رسوبگذاری و پهن‌شدگی قرار دارد، بازه‌های ٦،٧،٨ در مرحله فروسایی و پهن‌شدگی است (جدول ۳).

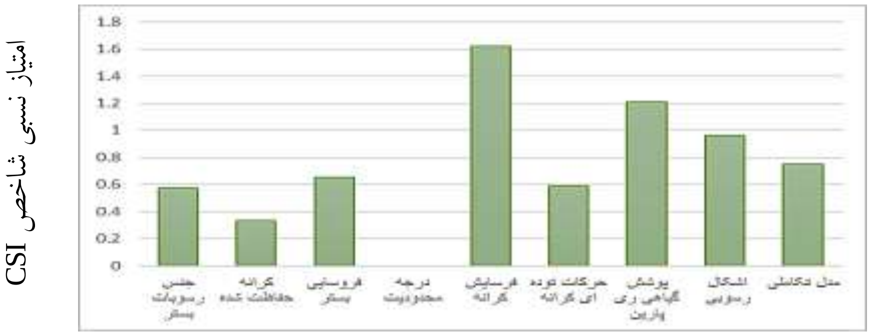


شکل ۱۱- وضعیت پایداری کانال در بازه‌های مورد مطالعه در رودخانه حاجی‌عرب با استفاده از مدل CSI

مجموع امتیازات این شاخص بین ۱۳/۵ تا ۲٤ متغیر است که بازه‌های ۱،۲،۳،٤،٥،٦ در وضعیت ناپایداری متوسط و بازه‌ها ۷،۸ در وضعیت ناپایداری بسیار زیاد قرار دارند.

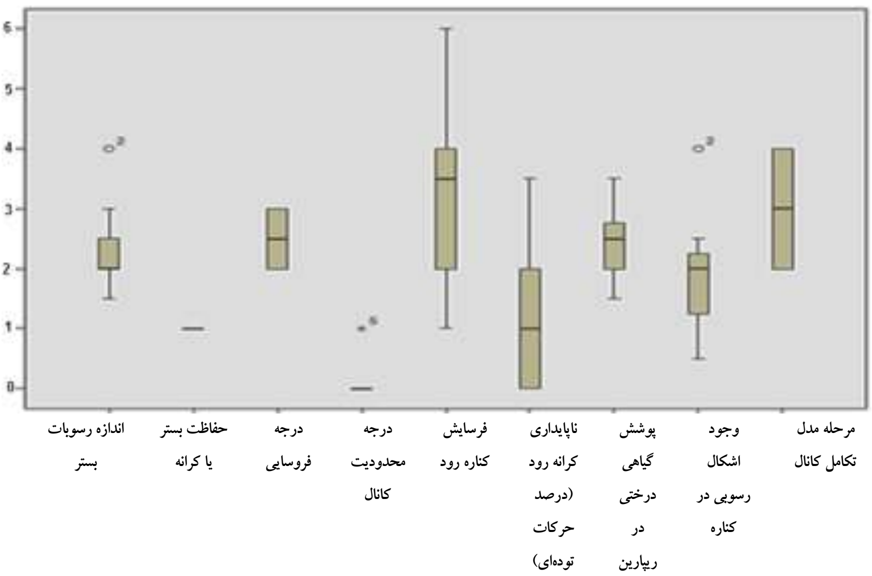
۳-۱- عوامل موثر در ناپایداری کناره در رودخانه حاجی عرب

الف) امتیاز نسبی: به منظور تعیین مؤثرترین پارامتر در هر شاخص از امتیازنسبی استفاده گردید. نتایج امتیاز نسبی شاخص CSI در قالب نمودار در شکل (۱۲) آمده‌است. براساس امتیاز نسبی بدست آمده از شاخص CSI مؤثرترین عوامل در ناپایداری کناره رودخانه به ترتیب عبارتنداز: فرسایش‌کناره، پوشش‌گیاهی ریپارین، اشکال رسوبی، مدل تکاملی رود، فروسایی‌بستر، جنس رسوبات بستر، حرکات توده‌ای و درجه محدودیت.



شکل ۱۲- امتیاز نسبی متغیرهای مختلف در روش CSI در بازه‌های مورد مطالعه

ب) نمودار جعبه‌ای: به منظور بررسی پراکندگی امتیازات بدست آمده از شاخص‌ها از نمودار جعبه‌ای استفاده شده است (شکل ۱۳). فرسایش کناره‌ای، ناپایداری کناره‌ای و مرحله تکامل کانال بیشترین پراکندگی را بین متغیرها داشته‌است. متغیر درجه محدودیت و حفاظت کناره به دلیل عدم وجود درصد فاقد نمودار هستند. در متغیر جنس رسوبات بستر و اشکال رسوبی مقادیری وجود دارد که حد خارجی داده‌ها را نشان می‌دهد. درجه فروسایی به دلیل اینکه در تمامی کناره‌ها مقادیر نزدیک به هم دارد انحراف کمتری از میانگین را نشان می‌دهد. در فرسایش کناره‌ای به دلیل اینکه بازه ۸ امتیاز ٦ و بازه ۳ امتیاز ۱ گرفته‌است پراکندگی زیادی در نمودار قابل مشاهده است.



شکل ۱۳- نمودار جعبه‌ای امتیازهای هر یک از متغیرها به صورت مجزا در مدل شاخص پایداری کانال(CSI)

٤- نتیجه گیری

هدف اصـلی این تحقیق تعیین پتانسـیل فرسـایش‌پذیری و پایداری بازه‌های مورد مطالعه در رودخانه حاجی‌عرب بوده اســت؛ بنابراین به منظور طبقه‌بندی پایداری کناره‌های رودخانه حاجی‌عرب ۸ بازه از این رودخانه با اســتفاده از تکنیکRGA (ارزیابی سریع ژئومورفیک) مورد بررسی قرارگرفت.

در این پژوهش یکی از روش‌های ارزیابی سـریع ژئومورفیک با عنوان پتانسـیل فرسـایش کناره (CSI) اسـتفاده شـده اسـت براساس امتیازهای اختصاص‌یافته با این شاخص، بازه‌های مورد مطالعه از نظر پایداری تعیین شدند. نتایج نشـان داد کـه در این رودخانه تمامی بازه‌ها (٦-١) به اسـتثنا بازه ۸،۷ که در وضـعیت ناپایداری بسـیار زیاد قرار دارنـد(جـدول۳) که این امر به دلیل تأثیر زیاد پارامتر فرسـایش کناره (که پراگندگی داده‌ها نیز در نمودار باکس پلات مؤید این مسـئله می‌باشـد) و الگوی رودخانه در این دو بازه می‌باشـد، تمامی بازه‌ها در گروه بازه‌هایی با ناپایداری متوسط قرارمی‌گیرند که این امر ناشی از تعدیل پارامترهای مؤثر در پایداری است (شکل۱۲).

امتیاز نسـبی بدسـت‌آمده از نتایج شـاخص پتانسـیل فرسـایش کرانه (CSI) نشان می‌دهد که ناپایداری کناره‌ها در رودخانهٔ حاجی‌عرب عمدتاً متأثر از فرسـایش کناره در وهلهٔ اول و سـپس پوشـش‌گیاهی حاشـیه‌کانال (ریپارین) و اشـکال رسـوبی می‌باشـد؛ نمودار جعبه‌ای و پراکندگی داده‌ها در این دو پارامتر نیز این مسئله را تأیید می‌کند. این امر با الگوی کانال، پوشـش‌گیاهی و جنس رسـوبات کانال ارتباط معناداری دارد. پژوهش دیگری که با روش RGA توسط (اسـماعیلی و همکاران، ۱۳۹۷) در رودخانه سـیمره انجام شـده است نشان می‌دهد که کرانه‌های در شاخص CSI در طبقه‌بندی ناپایداری متوسـط قرار دارند و مؤثرترین پارامترها در پایداری و ناپایداری رودخانه سـیمره به ترتیب عبارتند از: فروسـایی بسـتر، حرکات توده‌ای کرانه، فرسـایش کرانه، مدل تکاملی رود در حالیکه در رودخانه حاجی عرب با تفاوت کمی بازه‌های ۷،۸ در گروه ناپایداری بسـیار زیاد قراردارند و در این رودخانه فرسـایش کرانه مؤثرترین عامل در پایداری و ناپایداری کرانه است.

بر اسـاس یافته‌های هیرن و همکاران (۲۰۱۲) برای اطمینان از یافته‌های حاصـل نیاز است که همزمان با شاخص‌ها و مدل‌های دیگر تعیین پایداری اسـتفاده شـود و به تنهایی در پروژه‌های عمرانی مورد اسـتفاده قرار نگیرد؛ در واقع مدل‌هایی که بر پایهٔ شـاخص‌های ارزیابی سـریع ژئومورفیک هستند، بیانگر وضعیت کنونی رودخانه هستند. این روش مدلی اسـت که ارزیابی سـریع، ارزان قیمت و نبستاً ساده‌ای را به منظور تحلیل پایداری کناره‌های رودخانهٔ حاجی‌عرب برای ما امکان پذیر می‌کند.

براسـاس شـرایط بازه‌ها می‌توان از روش‌های تلفیقی متعددی در جهت تثبیت و حفاظت دیواره رودخانه به کار برد. این روش‌ها شـامل: روش‌های سازه‌ای (سازه‌های مقاوم به شکل روکش) و روش‌های طبیعی (نظیر پوشش‌گیاهی و تنه‌درختان) و روش‌های تلفیقی طبیعی و سـاختمانی (اسـتفاده همزمان از گابیون، مصالح ساختمانی با پوشش‌گیاهی) می‌شـود. در این میان روش‌های تلفیقی از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی و زیبایی‌شناسی مناسب‌تر است و می‌توان در

امتداد رودخانه حاجی‌عرب به کار برد. لازم به ذکر اســـت که در این منطقه با توجه به مورفولوژی و جنس رســـوبات کرانه اســتفاده از روش‌های حفاظت مســتقیم دیواره‌ها کارایی بیشتری نسبت به روش‌های غیر مستقیم (انحراف جریان یا سازه‌های آرام کننده) جریان دارد.

کتابنامه

اسـفندیاری درآباد، فریبا؛ بخشـنده، رسول؛ رحیمی، مسعود؛ حاجی، خدیجه؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ ۱۳۹۹. طبقه‌بندی و تحلیل ژئومورفولوژیکی بخشـــی از رودخانه حمزه‌خانلو با اســـتفاده از مدل رزگن. *هیدروژئومورفولوژی*. دوره ۷. شماره ۲۵، صص ۵۹-۳۹. doi.org/10.22034/hyd.2021.39301.1527

اســـماعیلی، رضـــا؛ حســـین زاده، محمد مهدی؛ متولی، صـــدرالدین؛ ۱۳۹۰. *تکنیک‌های میدانی در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای*. چاپ اول. انتشارات لاهوت

اسـماعیلی، رضـا؛ محمدیان، راضیه؛ لرستانی، قاسم؛ ۱۳۹۷. تحلیل پایداری کرانه رود با استفاده از تکنیک‌های ارزیابی ســریع ژئومورفیک مطالعه موردی :رودخانه ســیمره در محدوده شــهرســتان دره شــهر اســتان ایلام. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی*، سال هفتم. شماره (۳). صص: ۷۰ – ۵۷
https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1397.7.3.4.2

اطمینان، زهرا؛ رستمی، میلاد؛ نصرتی، کاظم؛ ۱۳۹۹. بررسی پایداری کناره رودخانه طالقان در برابر فرسایش و راهکارهای مدیریتی آن با استفاده از روش تنش برشی لین. *اکوهیدرولوژی*. دوره ۷. شماره ۱. صص ۱۱۹-۱۱۱
https://dx.doi.org/10.22059/ije.2020.291934.1236

امیری‌تکلدانی، ابراهیم؛ صـمدی، امیر؛ رحیمی، حسـن؛ ١٣٨٤. اثرات موقعیت و عمق ترک کششـی در پایداری ساحل رودخانه. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*. دوره ٦. شماره ٢٥. صص ٩٤-٧٧

آقا نباتی، علی؛ ۱۳۸۳. کتاب زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.

حسـین زاده، محمد مهدی؛ اسـماعیلی، رضـا؛ ۱۳۹۷. برآورد فرسایش کناره‌ای رودخانه با استفاده از مدل BSTEM. *فصلنامه زمین شناسی ایران*، سال ۱۱. شماره ٤٥. بهار. صص ۷۰-٥٣.
http://geology.saminatech.ir/Article/9571

حسـین زاده، محمدمهدی؛ خالقی، سـمیه؛ رسـتمی، میلاد؛ ١٣٩٦. مقایسـه روش‌های برآورد خطر فرسـایش کرانه‌ای با استفاده از مدل NBS) مطالعه موردی رودخانه گلالی قروه. مخاطرات محیط طبیعی، شماره ١٤. صص ١٥٢ -١٤١
https://dx.doi.org/10.22111/jneh.2017.3217

حسـین زاده، محمدمهدی؛ خالقی، سـمیه؛ واحدی فر، فراز؛ ١٣٩٦. ارزیابی تغییرات مورفولوژیک و پایداری رودخانه قرانقوچای هشترود با استفاده از مدل BEHI. *هیدروژئومورفولوژی*. شماره ۱۰. صص ١٦٤ – ١٤٥.
https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1396.4.10.8.7

رضـائی مقدم، محمدحسین؛ پیروزی نژاد، نوشین؛ ۱۳۹۳. بررسی تغییرات مجرا وفرسایش کناره‌ای در رودخانه گاماسیاب از سال ١٣٣٤تا ١٣٨٩. *نشریه علمی _ پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی*، سال ۱۸. شماره ٤٧. بهار. صص ۱۳۲-۱۰۹.
https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_1441.html

یمانی، مجتبی؛ ابراهیم خانی، نرگس؛ ۱۳۸۹. ارزیابی فرسایش پذیری سازندها از طریق رسوب شناسی آبرفت‌های معرف مطالعه موردی: حوضه حاجی عرب در استان قزوین. *مجله جغرافیا*. دوره ۸ شماره ۲٤. صص ٦۹_ ۸٦.

یمانی، مجتبی؛ سیامک شرفی؛ ۱۳۹۱. ژئومورفولوژی و عوامل مؤثر در فرسایش کناری رودخانه هررود در استان لرستان. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، سال ۲۳. شماره ٤۵. صص ۳۲ – ۱۵

https://journals.ui.ac.ir/article_18528_0.html

Bernhardt ES, Palmer MA, Allan JD, Alexander G, Barnas K, Brooks S, Carr J, Clayton S, Dahm C, Follstad-Shah J, Galat D, Gloss S, Oodwin P, Hart D, Hassett B, Jenkinson R, Katz S, Kondolf GM, Lake PS, Lave R, Meyer JL, O'Donnell TK, Pagano L, Powell B, Sudduth E., 2005. Synthesizing U.S. River Restoration Efforts. Science, 308: 636–637.

Coryat M., 2014. Analysis of the Bank Assessment for Non-point Source Consequences of Sediment (BANCS) Approach for the Prediction of Streambank Stability and Erosion along Stony Clove Creek in the Catskills. Master of Science Thesis, Syracuse University.

De Rose RC, Basher LR., 2011. Measurement of river bank and cliff erosion from sequential LIDAR and historical aerial photography. Geomorphology 126: 132–147.

Gray DH, Leiser AT., 1982. Bio-Technical slope Protection and Erosion Control". Van Nostrand Reinhold Company inc, New York.

Heeren DM, Mittelstet AR, Fox GA, Storm DE, Al-Madhhachi AT, Midgley TL, Stringer AF, Stunkel KB, Tejral RD., 2012. Using rapid geomorphic assessments to assess stream bank stabililty in Okkahmoma Ozarak streams. American Society of Agricultural and Biological Engineers 55(3): 957-968

Johnson PA, Gleason GL, Hey RD., 1999. Rapid assessment of channel stability in Vivtiny of road crossing. Journal of Hydraulic Engineering 125(6) : 645-651.

Jorge DA, Macelo HG., 2006. RVR Meander: A Toolbox for Re-meandering of Channelized Streams. Computers & Geosciences 32: 92-101

Lawler DM., 1993. The measurement of river bank erosion and lateral channel change: a review. Earth Surf Process Landf 18: 777–821.

Petersen MS., 1986. River Engineering. Prentice-Hall

Rosgen DL., 2001. A Practical Method for Computing Stream Bank Erosion Rate.In: Pages 9–15 in Proceedings of the 7th Federal Interagency SedimentationConference, Mar 25–29, U.S. Interagency Committee on Water Resources, Sub-committee on Sedimentation, Reno, Nevada, 9–15.

Sarma JN, Borah D, Goswam U., 2007. Change of river channel and bank erosion of the Burhi Dihing river (ASSAM), assessed using remote sensing and GIS. Remote Sensing 35(1): 93-100.

Simon A, Downs PW., 1995. An interdisciplinary approach to evaluation of potential instability in alluvial channels. Geomorphology 12(3): 215-232.

Simon A, Hupp CR., 1986. Channel Evolution in Modified Tennessee Channels. Proceedings of the Fourth Interagency Sedimentation Conference, 2:74 -82.

Simon A, Klimetz L., 2008. Magnitude, frequency and duration relations for suspended sediment in stable (reference) southeastern streams. Journal of the American Water Resources Association 44: 27-39.

Thakur PK, Laha C, Aggarwal SP., 2012. River bank erosion hazard study of river Ganga upstream of Farakka barrage using remote sensing and GIS. Nat Hazards 61: 967–987.

Zainal Abidin R, Sulaiman MS, Yusoff N., 2017. Erosion risk assessment: A case study of the Langat River bank in Malaysia. International Soil and Water conservation research 5: 26-35. doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.01.002